

*Quaderns Agraris* (Institució Catalana d'Estudis Agraris), núm. 36 (juny 2014), p. 23-50  
ISSN (ed. impresa): 0213-0319 / ISSN (ed. electrònica): 2013-9780  
<http://revistes.iec.cat/index.php/QA> / DOI: 10.2436/20.1503.01.33

---

## **EL REGADIU A LLEIDA. RESULTATS DE DIVERSES AVALUACIONS A LA ZONA REGABLE DELS CANALS D'URGELL (LLEIDA)<sup>1</sup>**

---

**Lluís Cots Rubió, Joaquim Monserrat Viscarri  
i Javier D. Barragán Fernández**

Grup de Recerca d'Enginyeria Hidràulica, Hidrològica  
i del Medi Rural (GEHM), Departament d'Enginyeria Agroforestal,  
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària, Universitat de Lleida

REBUT: 18 de juny de 2013 - ACCEPTAT: 16 de desembre de 2013

### **RESUM**

En aquest article fem una descripció de les superfícies regades a la demarcació de Lleida i la demanda d'aigua que representen enfront de les aportacions en règim natural. Es donen els resultats de les avaluacions del reg a diferents escales, obtingudes pel grup de recerca al llarg dels últims vint anys a l'àrea regada pels canals d'Urgell, on el reg predominant és el reg a tesa.

S'observa que la qualitat del reg a tesa està molt condicionada pel tipus de sòl on s'aplica. A mesura que l'àmbit de la zona de reg avaluada és més gran, es fa palès com l'aprofitament de l'aigua augmenta respecte a l'obtintuda en parcel·la o en petites zones de reg. Aquest fet no és atribuïble sols al pes que suposen els sòls idonis per al reg a tesa, sinó també a la reutilització que es fa de l'aigua, a causa de l'escassetat del recurs.

Es valoren els avantatges i inconvenients que presenta la modernització dels regadius, així com diferents maneres de realitzar-la. Finalment, es mostren els resultats de la simulació de la modernització de l'àrea regada pels canals d'Urgell i les repercussions que comportaria quant a l'aprofitament de l'aigua, i s'observa que la modernització del regadiu no comporta un estalvi d'aigua o alliberació de recursos per a altres usos, com es creu, sinó un increment del consum i una disminució dels recursos disponibles aigües avall.

1. Aquest article és la síntesi de diversos projectes de recerca finançats per l'antiga Junta d'Aigües de Catalunya (1990-1991) i la Direcció General d'Investigació del Ministeri de Ciència i Tecnologia: HID1998-085 (1998-2000) i REN2002-03990/HID (2002-2005).

Correspondència: Lluís Cots Rubió. Tel.: 973702820. Fax: 973702673. A/e: [cots@eagrof.udl.cat](mailto:cots@eagrof.udl.cat).

PARAULES CLAU: recursos hídrics, reg, avaluació, modernització, Lleida, canals d'Urgell.

## **EL REGADÍO EN LLEIDA. RESULTADOS DE DIVERSAS EVALUACIONES EN LA ZONA REGABLE DE LOS CANALES DE URGELL (LLEIDA)**

### **RESUMEN**

En este artículo hacemos una descripción de las superficies regadas en la provincia de Lleida y la demanda de agua que representan respecto a las aportaciones en régimen natural. Se presentan los resultados de las evaluaciones del riego a diferentes escalas, realizadas por el grupo de investigación en los últimos veinte años en el área regada de los canales de Urgell, donde el riego predominante es el riego por superficie.

Se observa que la calidad del riego por superficie está muy condicionada por el tipo de suelo donde se aplica. A medida que el dominio de la zona evaluada es mayor se pone de manifiesto como el aprovechamiento del agua aumenta con respecto a la obtenida en parcela o en pequeñas zonas de riego. Este hecho no es atribuible sólo al incremento del peso que suponen los suelos idóneos para el riego por superficie, sino también a la reutilización que se hace del agua, debido a la escasez del recurso.

Se valoran las ventajas e inconvenientes que presenta la modernización de los regadíos, así como diferentes maneras de realizarla. Finalmente, se muestran los resultados de la simulación de la modernización del área regada por los canales de Urgell y las repercusiones que conllevaría en cuanto al aprovechamiento del agua, observándose que la modernización del regadío no conlleva un ahorro de agua o liberación de recursos para otros usos, como se cree, sino un incremento del consumo y una disminución de los recursos disponibles aguas abajo.

PALABRAS CLAVE: recursos hídricos, riego, evaluación, modernización, Lleida, canales de Urgell.

## **IRRIGATION IN LLEIDA. RESULTS OF SEVERAL ASSESSMENTS OF THE URGELL CANALS DISTRICT**

### **ABSTRACT**

This paper describes the irrigated areas of Lleida province and their water demand as compared to the natural water supply. The results are presented of the irrigation assessments conducted on various scales by our re-

search group over the past 20 years in the area irrigated by the Urgell canals, where flood irrigation is the primary method used.

It has been observed that the quality of flood irrigation is highly conditioned by the type of soil. Likewise, the larger the extension of the irrigated area, the higher the efficiency of water use with respect to what is found in plots and small-scale irrigation areas. This fact is not only attributable to the suitability of soil types for flood irrigation but also to the reuse of water because of its scarcity.

The advantages and disadvantages of modernising the irrigation systems and the different ways of carrying this out are appraised. Lastly, results are presented of a simulated modernisation of the area irrigated by the Urgell canals, with a discussion of the effects that such modernisation would have on the efficiency of water use. It is concluded, contrary to what is generally thought, that the modernisation of irrigation here would not entail any water savings or any release of water resources for other uses, but rather an increased consumption and a decrease in downstream water availability.

**KEYWORDS:** water resources, irrigation, assessment, modernisation, Lleida, Urgell canals.

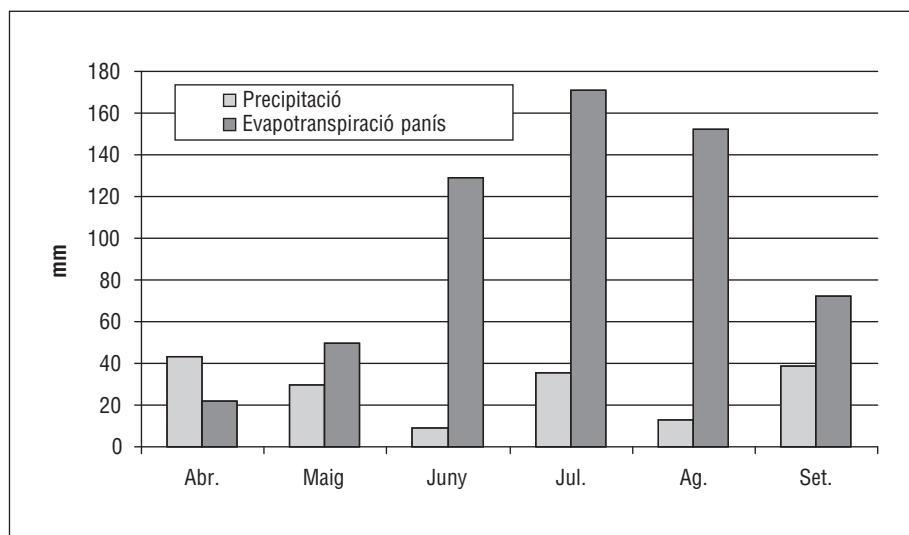
### 1. INTRODUCCIÓ

Des de l'antiguitat l'home es va adonar que regant els conreus es podia augmentar considerablement la seva productivitat; en tenim bons exemples a les civilitzacions de Mesopotàmia i Egipte. La tècnica del reg va arribar a les nostres contrades de la mà dels àrabs, que van construir diversos aprofitaments. Des d'aleshores, a mesura que anava evolucionant la tècnica, es van anar construint infraestructures de reg més complexes. A Lleida en tenim exemples com el canal de Pinyana (1147), el canal d'Urgell (1862) i el canal Segarra-Garrigues (2009).

Per les característiques climàtiques de la plana de Lleida, si es fa un balanç entre les aportacions d'aigua i el consum, hi ha un dèficit important d'aigua en la majoria de conreus a l'estiu (figura 1). Per tant, el reg es fa imprescindible per produir certs conreus com fruiters, farratges, panís, etcètera.

Per poder regar és necessari disposar d'una infraestructura que ens permeti conduir l'aigua. Es defineixen les parts següents d'una infraestructura de reg: captació, conducció i aplicació. Dintre dels sistemes de reg, per aplicar l'aigua tenim: reg a tesa o per gravetat, reg per aspersió i reg localitzat.

**FIGURA 1.** Representació de les aportacions per pluja i l'evapotranspiració del panís a la plana de Lleida l'any 2001



FONT: Elaboració pròpia.

## 2. ELS REGADIS ACTUALS I FUTURS A LLEIDA

A la província de Lleida el regadiu té una gran importància, i la superfície regada és de 151.878 ha, cosa que significa el 43 % del total de les terres de conreu de la província i el 76 % de la superfície regada de Catalunya. Com a grans zones regades destaquen els canals d'Urgell (principal i auxiliar), el canal d'Aragó i Catalunya i el canal de Pinyana (figura 2). El reg per gravetat és el mètode de reg més abundant (83 % de la superfície regada), mentre que el reg per aspersió ocupa el 9 % i el localitzat el 8 %. (taula 1). Pel que fa als conreus, els herbacis (panís, alfals, blat i ordi com a conreus majoritaris) representen el 64 % i els llenyosos (pomera, perera i presseguer, principalment) el 36 % (Regs de Catalunya [REGSA], 1999).

Segons les dotacions mitjanes anuals per als conreus de cada zona de regadiu i la superfície regada, en resulta una demanda mitjana actual de 1.079 hm<sup>3</sup> a l'any. Les aportacions mitjanes interanuals en règim natural dels rius de la província de Lleida (Segre, Noguera Pallaresa i Ribagorçana, sense el Cinca) són de 3.441 hm<sup>3</sup> (Confederación Hidrogràfica del Ebro [CHE], 2005). Per tant, els regadius demanden actualment el 31 % de les aportacions en règim natural. En el futur, la superfície regada està previst que s'incrementi en 94.147 ha (taula II), i la demanda passarà a ser de 1.495,7 hm<sup>3</sup> a l'any, fet que suposarà el 43 % de les aportacions.

## El regadiu a Lleida. Resultats de diverses avaluacions

Cal assenyalar, però, el que comenta Coch (2003), que la majoria dels aprofitaments no consumeixen tota l'aigua que reben. Com a conseqüència, es produeixen uns sobrants denominats *retorns*, que es poden emprar per a nous usuaris successius, en alguns casos després d'un tractament de regeneració d'aquests retorns. De manera que l'ús múltiple i successiu, sense consum total, fa que una quantitat concreta de recurs pugui satisfer demandes en una quantia superior al volum inicial de recurs. En altres paraules, el volum circulant en un riu pot satisfer demandes que en conjunt siguin molt superiors a l'aportació del riu. Així, per exemple, un riu amb una aportació de 1.000 hm<sup>3</sup> és capaç en teoria de satisfer demandes de, per exemple, 1.500 hm<sup>3</sup>.

Els regadius més recents amb xarxa de pressió a la demanda són: els del canal d'Algerri-Balaguer, els de la comunitat de regants de Carrassumada de Torres de Segre i els de Garrigues Sud, planificats com a reg de suport a l'olivera i els ametllers (figura 2).

Actualment, s'està duent a terme la gran obra de regadiu del canal Segarra-Garrigues, el qual té dos punts de captació, un d'aquests situat a l'embassament de Rialb, d'on parteix el canal Segarra-Garrigues amb una longi-

**TAULA I.** *Regadius existents a la província de Lleida*

| Denominació                 | Superfície concessió (ha) | Superfície regada (ha) | Reg per gravetat (ha) | Reg per aspersió (ha) | Reg localitzat (ha) | Dotació (m <sup>3</sup> /ha) | Demanda (hm <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|------------------------------|----------------------------|
| Alt Segre                   | 8.407                     | 7.625                  | 6.802                 | 823                   | 0                   | 5.100                        | 38,9                       |
| Segre Mitjà                 | 673                       | 673                    | 478                   | 195                   | 0                   | 5.800                        | 3,9                        |
| Segarra Garrigues Nord      | 1.548                     | 1.548                  | 1.548                 | 0                     | 0                   | 1.800                        | 2,8                        |
| Alta Noguera Pallaresa      | 1.512                     | 1.512                  | 1.414                 | 68                    | 0                   | 4.800                        | 7,3                        |
| Baixa Noguera Pallaresa     | 2.045                     | 2.045                  | 1.645                 | 400                   | 0                   | 6.200                        | 12,7                       |
| Baix Segre                  | 10.798                    | 10.798                 | 8.577                 | 396                   | 1.241               | 8.700                        | 93,9                       |
| Canals d'Urgell             | 76.186                    | 76.186                 | 68.733                | 1.206                 | 3.305               | 7.200                        | 548,5                      |
| Segarra Garrigues Sud       | 383                       | 383                    | 333                   | 0                     | 0                   | 700                          | 0,3                        |
| Alta Noguera Ribagorçana    | 302                       | 302                    | 289                   | 7                     | 0                   | 5.200                        | 1,6                        |
| Noguera Ribagorçana Mitjana | 25                        | 25                     | 23                    | 1                     | 0                   | 5.800                        | 0,1                        |
| Baixa Noguera Ribagorçana   | 762                       | 762                    | 732                   | 30                    | 0                   | 2.900                        | 2,2                        |
| Albesa                      | 2.871                     | 2.871                  | 2.277                 | 74                    | 520                 | 8.200                        | 23,5                       |
| Canal de Pinyana            | 12.585                    | 12.585                 | 9.915                 | 1.251                 | 1.263               | 11.800                       | 148,5                      |
| Canal d'Aragó i Catalunya   | 36.708                    | 36.708                 | 19.231                | 10.193                | 5.821               | 5.300                        | 194,6                      |
| <b>Total</b>                | <b>152.660</b>            | <b>151.878</b>         | <b>120.142</b>        | <b>12.650</b>         | <b>11.630</b>       | <b>6.062</b>                 | <b>1.079</b>               |

FONT: Elaboració pròpia amb dades de Regs de Catalunya, SA (1999).

**TAULA II.** *Nous regadius en execució i previstos a la província de Lleida*

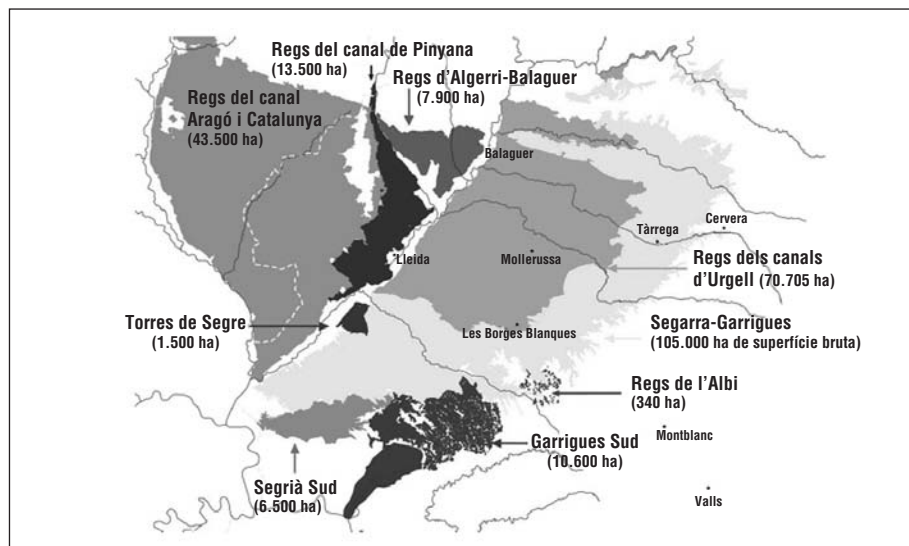
| Nous regadius                        | Captació del riu    | Superfície regable (ha) | Dotació (m³/ha) | Demanda (hm³/any) |
|--------------------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|
| Conca de Dalt (Pallars Jussà)        | Noguera Pallaresa   | 170                     | 6.500           | 1,11              |
| Canal Segarra-Garrigues <sup>1</sup> | Segre               | 47.775 <sup>2</sup>     | 6.500           | 308,44            |
| Canal Segarra-Garrigues <sup>1</sup> | Segre               | 22.375                  | 1.500           | 33,56             |
| Canal d'Algerri-Balaguer             | Noguera Ribagorçana | 8.000                   | 6.000           | 48,00             |
| L'Albi (les Garrigues)               | Set                 | 341                     | 850             | 0,29              |
| Segrià Sud                           | Ebre a Mequinensa   | 6.486                   | 2.000           | 12,97             |
| Garrigues Sud                        | Ebre a Flix         | 9.000                   | 1.300           | 11,70             |
| <b>Total nous regadius</b>           |                     | <b>94.147</b>           |                 | <b>416.07</b>     |

1. L'àrea regable del Segarra-Garrigues s'ha establert sense tenir en compte les possibles zones afectades per zones protegides, ja siguin dins del Pla d'Espais d'Interès Natural (PEIN) o de les ZEPA.

2. Dins aquesta superfície s'inclouen 700 ha corresponents a les zones de reg de l'Alt Urgell o Tàrraga, Anglesola i Belianes que tenen una dotació de 3.500 m³/ha.

FONT: Elaboració pròpia a partir de dades del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural (DAAR) (2011) i de la Comunitat General de Regants del Canal Segarra-Garrigues (CGRCSG) (2011).

**FIGURA 2.** *Algunes de les àrees de regadiu de les planes de Lleida existents, en execució o previstes*



Nota: Algunes de les superfícies que apareixen a la figura no concorden amb les mostrades a les taules I i II.

FONT: Reg Sistema Segarra-Garrigues (REGSEGA) (2011).

tud de 88 km i que finalitza a l'embassament de l'Albagés, amb un volum, aquest, de 80 hm<sup>3</sup>. Inicialment, el volum anual de demanda previst era de 273 hm<sup>3</sup>. La resta de demanda de reg prevista de 69 hm<sup>3</sup> es captaria mitjançant bombaments situats al Baix Segre. Ara bé, el canal no ha estat absent de polèmica arran d'interposicions de grups ecologistes per tal de protegir les aus de la zona, la qual cosa ha comportat una resolució de la Unió Europea (UE) que obliga que una gran part de la futura zona regable sigui declarada zona d'especial protecció d'aus (ZEPA). El fet de les ZEPA ha portat a definir de nou la dotació d'aigua assignada a cada zona que, segons Solé (2013), és:

1. Zona de reg de transformació, amb una dotació de 6.500 m<sup>3</sup>/ha a l'any, amb una superfície de 37.931 ha, cosa que suposa el 55 % de la futura àrea regable.
2. Zona de reg de suport intermedi o de cereals d'hivern, amb una dotació de 3.500 m<sup>3</sup>/ha a l'any i una superfície de 13.652 ha localitzada dins les zones ZEPA, i que suposa el 19,8 % de l'àrea regable.
3. Zona de reg de suport amb dotació de 1.500 m<sup>3</sup>/ha a l'any i una superfície de 17.358 ha, ubicada, majoritàriament, en el marge esquerre del canal, que representa el 25,2 % de l'àrea regable.

El fet anterior comportaria que el volum de demanda a servir passi a ser de 320,37 hm<sup>3</sup> en lloc dels 342 hm<sup>3</sup> previstos inicialment en el projecte de transformació.

### 3. METODOLOGIA I CONCEPTES PER A L'AVALUACIÓ DEL REGADIU

Per a unes adequades planificació i gestió de l'aigua és imprescindible fer mesures per poder determinar en els punts d'interès la quantitat del recurs hídric i la seva distribució al llarg del temps. La gran superfície que ocupa el regadiu fa que sigui un dels usos que consumeix més quantitat d'aigua per a la producció d'aliments, per la qual cosa és necessari fer avaluacions de com s'aprofita l'aigua de reg en l'àmbit de parcel·la, així com en grans àrees de regadiu i de conca.

#### 3.1. Metodologia i conceptes per a l'avaluació de les parcel·les de reg

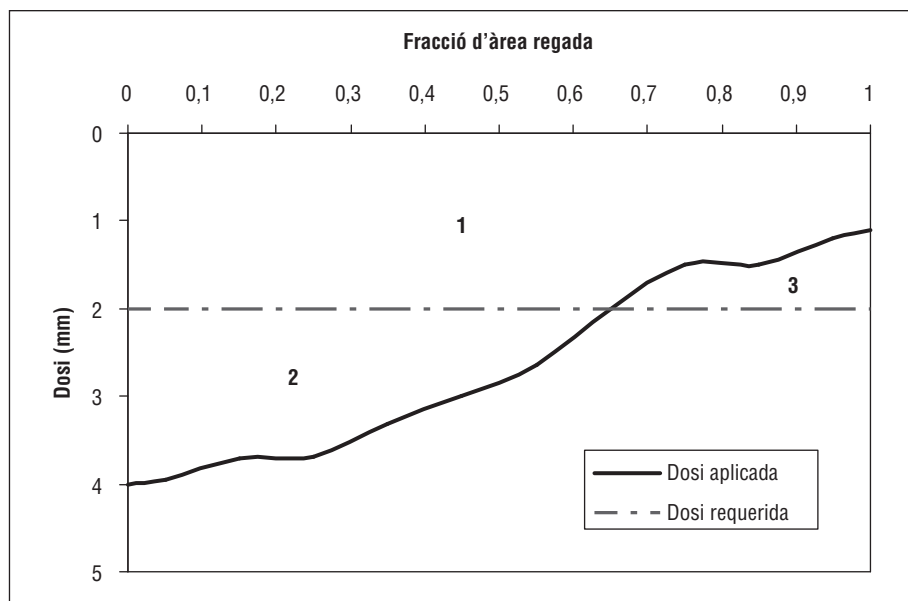
Un bon reg és aquell que aporta la quantitat d'aigua necessària per al conreu, d'una manera homogènia. Cal tenir en compte, però, que quan reguem no estem aplicant l'aigua directament al conreu, sinó al sòl, d'on la planta l'extreu en funció de les seves necessitats. És a dir, que el sòl és un medi intermedi entre el sistema de reg i la planta, i fa funcions de magatzem de l'aigua.

Per poder avaluar un reg, cal saber que el nostre objectiu és omplir d'aigua fins a la capacitat de camp la profunditat de sòl explorada per les arrels i alhora satisfer les necessitats d'aigua per al rentat de sals. Aquesta quantitat d'aigua necessària per unitat de superfície s'anomena *dosi requerida*. A la figura 3 es representa la distribució d'aigua d'un reg localitzat en què no hi ha escolament, ordenant les dosis infiltrades de més grans a més petites. Les dosis d'aigua inferiors o iguals a la dosi requerida es consideren *útils* per a la planta i estarien representades per l'àrea 1. Les dosis superiors es perden en profunditat (percolació) (àrea 2). També hi ha una part de la parcel·la que no arriba a rebre la dosi requerida i, per tant, hi ha un cert dèficit (àrea 3). Finalment, en algun reg pot succeir que part de l'aigua aplicada amb el reg no s'infiltri i s'escoli per la superfície fora de la parcel·la; aquesta aigua s'anomena *escolament*.

Tenint en compte aquests conceptes, es defineixen els índexs de qualitat d'un reg següents:

— L'*eficiència d'aplicació* (EA) indica l'aprofitament de l'aigua aplicada amb el reg i es calcula com la relació entre el volum infiltrat útil per a les plantes (àrea 1) i el volum aplicat pel reg (àrea 1 + 2). Per tant, com més petit sigui aquest índex, menor és la fracció de l'aigua aplicada útil per a les plantes.

**FIGURA 3.** Fracció d'àrea regada amb una certa dosi aplicada o superior



FONT: Elaboració pròpia.



Els índexs següents quantifiquen les pèrdues:

- L'*índex de percolació* (IP) indica el valor relatiu del volum percolat (àrea 2) respecte de l'aplicat (àrea 1 + 2).
- L'*índex d'escolament* (IE) indica el valor relatiu del volum escolat respecte de l'aplicat (àrea 1 + 2).

S'acompleix que la suma de tots tres (EA + IP + IE) expressats en tant per u ha de ser igual a 1.

Tanmateix, aquests índexs no són suficients per avaluar un reg. Imaginem la situació d'un reg en què les dosis infiltrades siguin bastant inferiors a la dosi requerida. En aquest cas, EA = 1, IP = 0 i IE = 0; per tant, és un bon reg pel que fa a l'aprofitament de l'aigua, però no és un bon reg pel que fa a la satisfacció de les necessitats de les plantes. Per això es defineix un nou índex anomenat *coeficient de dèficit* (CD), que és la relació entre el volum de dèficit (àrea 3) i el volum emmagatzemable al sòl (àrea 1 + 3).

Per tant, un bon reg serà aquell en què hi ha un bon aprofitament d'aigua amb un petit dèficit. Aquest objectiu és més fàcil d'assolir si el reg és uniforme, és a dir, si la diferència entre la dosi infiltrada màxima i mínima és petita. Per quantificar la uniformitat, es poden definir dos índexs: un és la *uniformitat de distribució* (UD), que és el quocient entre la mitjana del 25 % dels valors més petits de la dosi aplicada i la dosi aplicada mitjana ( $\bar{d}$ ). Si el reg és uniforme, aquests dos valors seran similars i la uniformitat serà propera a 1. L'altre és el *coeficient d'uniformitat* anomenat *de Christiansen* (CU), que es defineix com:

$$CU = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |\bar{d} - d_i|}{\bar{d}}$$

On  $d_i$  = aigua aplicada en un punt de la parcel·la i  $n$  = nombre d'observacions.

En aquest índex, si les dosis aplicades són properes a la mitjana, el numerador serà petit i, per tant, l'índex proper a 1. La diferència respecte a UD és que en CU es fa la mitjana de totes les altures infiltrades, mentre que en UD se centra en les més baixes i, per tant, el seu valor és més petit.

La uniformitat del reg en reg a pressió està lligada a les característiques de la instal·lació (per exemple: la sensibilitat dels emissors a les variacions de pressió, el percentatge d'obturacions en els emissors en reg per degoteig...). En canvi, l'eficiència depèn del maneig que en fa el regant, és a dir, si s'ajusten les dosis aplicades a les necessitats. Es pot afirmar que l'eficiència màxima, sense produir dèficit, que es pot aconseguir amb una instal·lació de reg

és el valor de la seva UD. Si l'eficiència és menor que la uniformitat, és que no se n'està fent un bon maneig.

Com a aplicació dels conceptes exposats, es poden calcular els índexs de qualitat del reg corresponents a la figura 3 a partir de les seves àrees, que són: EA = 0,69; IP = 0,31; IE = 0; CD = 0,09; UD = 0,51; CU = 0,67. En aquest cas, tenim que EA és més gran que UD, perquè hi ha cert dèficit. Per tant, el problema principal d'aquest reg és la baixa uniformitat, o sigui que hi ha un problema a la instal·lació, sigui per un mal disseny hidràulic, per un sistema de filtratge inadequat o per un mal tractament de l'aigua.

Finalment, és interessant comentar una nova filosofia del reg que només es pot aplicar en alguns conreus. Consisteix a produir cert dèficit en determinats moments del cicle de la planta. S'ha comprovat que en aquests conreus (olivera, ametller, presseguer...) aquest estrès hídric estacional no afecta pràcticament la producció final (Steduto *et al.*, 2012), però, en canvi, permet aconseguir una disminució important del consum d'aigua.

### **3.2. Metodologia per a l'avaluació en l'àmbit de grans superfícies de regadiu i de conca**

Per dur a terme les avaluacions de grans superfícies de regadiu és de gran utilitat emprar l'equació del balanç hídric. Aquesta estableix que per a qualsevol sistema i durant qualsevol període de temps considerats, la diferència entre les entrades i les sortides serà igual al canvi de volum d'aigua emmagatzemat, sempre que no hi hagi errors de tancament en el balanç. Això implica fer mesures de flux i d'emmagatzemament d'aigua, encara que, mitjançant una selecció adequada de l'espai i del període de temps, algunes mesures poden ser eliminades (UNESCO, 1974).

L'equació del balanç hídric, si es té en compte que les sortides comprenen tant el consum (aigua que no retorna al sistema) com els retorns que tornen al riu un cop usada l'aigua, pot expressar-se com:

$$(1) \quad \text{Entrades} - \text{Consums} - \text{Retorns} - \text{Variació volum} - \text{Error} = 0,$$

que expressat en forma de notació quedaria:

$$(2) \quad \text{ENT} - \text{CON} - \text{RET} - \Delta V - \text{ERR} = 0.$$

Si el consum es divideix en consum beneficis (CB), que representa el volum que és útil per a l'ús al qual es destina l'aigua, i no beneficis (CNB), el que no és útil, i el retorn també es divideix en beneficis (RB) i no beneficis (RNB), aleshores l'equació anterior es pot expressar com:

$$(3) \quad \text{ENT} - \text{CB} - \text{CNB} - \text{RB} - \text{RNB} - \Delta V - \text{ERR} = 0.$$

Un exemple de consum beneficiós seria l'aigua que és evapotranspirada pels conreus o l'aigua que es consumeix en l'ús urbà. Mentre que de consum no beneficiós en seria, per exemple, l'aigua que s'evapora de la xarxa de transport, la que es perd per evaporació en reg per aspersió, o l'aigua de pluja o de reg que és interceptada per la vegetació. Exemple de retorn beneficiós fóra el volum d'aigua necessari per rentar les sals acumulades al sòl, i de no beneficiós, la resta de retorns. Ara bé, com hem comentat abans, aquests retorns no beneficiosos poden ser reutilitzats aigües avall per a altres usos. A la vegada, la distinció entre el que és beneficiós i el que no ho és a vegades no és tan evident i depèn del punt de vista, ja que el que pot considerar-se una pèrdua del sistema pot ser beneficiós per al medi ambient.

I si es consideren les entrades netes (ENT\_N) com:

$$(4) \quad ENT\_N = ENT - \Delta V,$$

i, si se substitueix (4) en (3), s'obté l'equació següent:

$$(5) \quad ENT\_N - CB - CNB - RB - RNB - ERR = 0.$$

Amb els components del balanç hídric es poden calcular algunes relacions que són útils per veure el grau d'aprofitament que es fa de l'aigua, com ara:

La fracció consumida (FC), que és la relació entre el consum i les entrades netes:

$$(6) \quad FC = CON/ENT\_N$$

i la fracció de retorn (FR), que és la relació entre les sortides (SOR) i les entrades netes:

$$(7) \quad FR = SOR/ENT\_N,$$

havent-se de complir que:

$$(8) \quad FC + FR = 1.$$

#### **4. RESULTATS DE DIVERSES AVALUACIONS A LA ZONA REGABLE DELS CANALS D'URGELL (LLEIDA)**

En aquest apartat es presenten els resultats de les avaluacions del reg obtingudes per l'àrea d'enginyeria hidràulica de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària (ETSEA) de la Universitat de Lleida, dins la zona regada pels

canals d'Urgell. Primerament, es presenten els resultats de les avaluacions del reg en l'àmbit de parcel·les de reg, a continuació en una petita àrea regada de 430 ha i, finalment, en l'àmbit d'una superfície molt més gran de 37.764 ha que correspon a la conca del riu Corb dins del domini dels canals d'Urgell.

#### **4.1. Resultats d'avaluacions del reg a tesa en parcel·la**

Es presenten els resultats de vuitanta-cinc avaluacions realitzades per l'àrea d'enginyeria hidràulica durant el període de 1989 a 1992 la major part, i també els anys 1995 i 2000, en trenta-nou parcel·les dels termes municipals de Linyola, Arbeca, Ivars d'Urgell, Penelles i els Alamús, i que s'han agrupat en cinc grans categories en funció del tipus de sòl, la seva profunditat i el material geològic subjacent (taula III). Les avaluacions de reg de què es disposa representen el 79,5 %, és a dir, 30.004 ha, de les unitats cartogràfiques dels sòls que comprenen la superfície regada drenada pel riu Corb (una de les conques que travessen la zona regada pels canals d'Urgell).

Si s'analitzen els índexs de qualitat del reg en els sòls desenvolupats sobre les graves dels cons al·luvials del riu Corb que corresponen a les unitats cartogràfiques Ab2, Bb1 i Bb2, que es troben ressenyats a la llegenda del peu de la taula III, i que representen el 22,9 % de l'àrea estudiada, s'observa que, independentment de la seva profunditat, presenten valors elevats de l'índex de percolació (entre el 61 % i el 74 %), cosa que fa que l'eficiència d'aplicació en parcel·la sigui molt baixa (amb xifres del 22 % al 39 %). Això es deu, bàsicament, al fet que el tipus de sòl té una baixa capacitat de retenció d'aigua, junt amb una alta capacitat d'infiltració per l'existència de graves, la qual cosa, lligada als elevats volums d'aigua necessaris en el reg a tesa, fa que es perdi molta aigua per infiltració en profunditat. L'aigua que s'infiltra del reg en aquestes zones és la principal font de recàrrega de l'aquífer al·luvial del riu Corb subjacent, de manera que el nivell freàtic puja quan comença la campanya de regs el mes de març, mentre que quan acaba la campanya de regs al setembre, els nivells decreixen fins a assolir els valors mínims en els mesos d'hivern, sempre que no hi hagi pluges importants.

Pel que fa als sòls desenvolupats sobre lutites i gresos (Aa1 i Ba1) i materials detrítics fins (Ca1, Ca3 i Ca4), que representen, en conjunt, el 56,5 % de la zona regada estudiada, l'índex de percolació és molt més reduït (d'entre el 10 % i el 34 %), i l'índex d'escolament superficial va des de 0 % en l'agrupació de sòls Ca1, Ca3 i Ca4 i augmenta amb valors que van del 3 % en els sòls Ba1 al 16 % en els de tipus Aa1. L'eficiència d'aplicació varia entre el 65 % i el 86 %, xifres molt més elevades respecte als sòls anteriors. Això és conseqüència de les propietats físiques d'aquests sòls, amb més capacitat de retenció i un tipus de textura que en disminueix la capacitat d'infiltració i n'afavoreix l'escolament.

**TAULA III.** *Síntesi dels resultats de les avaluacions del reg d'algunes de les parcel·les amb representació en les unitats cartogràfiques de la zona regada dels canals d'Urgell drenada pel riu Corb*

| Agrupació unitats cartogràfiques                          | Material geològic subjacent | Profunditat del sòl (cm) | Relació amb formació aquífera | Superfície |      | Índexs de la qualitat del reg |        |        |        |        |
|---|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------|------|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|   |                             |                          |                               | ha         | %    | EA (%)                        | IP (%) | IE (%) | CD (%) | CU (%) |
| Aa1   | Lutites i gresos            | < 40                     | No                            | 2.335      | 6,2  | 75                            | 10     | 16     | —      | 96     |
| Ab2   | Graves                      | < 40                     | Sí                            | 4.289      | 11,4 | 22                            | 74     | 4      | —      | 90     |
| Ba1   | Lutites i gresos            | 40-120                   | No                            | 6.279      | 16,6 | 86                            | 11     | 3      | —      | 90     |
| Bb1 i Bb2   | Graves                      | 40-120                   | Sí                            | 4.369      | 11,6 | 39                            | 61     | 0      | 6      | 97     |
| Ca1, Ca3, Ca4   | Detrítics fins              | > 120                    | No                            | 12.732     | 33,7 | 65                            | 34     | 0      | 4      | 91     |
| Mitjana ponderada   | Total                       |                          |                               |            |      | 60                            | 37     | 2      | 4      | 92     |
|   | Sense aquífer               |                          |                               |            |      | 73                            | 25     | 3      | 4      | 91     |
|   | Amb aquífer                 |                          |                               |            |      | 30                            | 68     | 2      | 6      | 94     |
| Superfície total estudiada i % sobre el total de la conca | Total                       |                          |                               | 30.004     | 79,5 |                               |        |        |        |        |
|   | Sense aquífer               |                          |                               | 21.346     | 56,5 |                               |        |        |        |        |
|   | Amb aquífer                 |                          |                               | 8.658      | 22,9 |                               |        |        |        |        |

Classificació de les unitats cartogràfiques: Aa1 (torriortent xèric); Ab2 (paleorthid xeròl·lic); Ba1 (xerortent típic); Bb1 (xerocrept petrocàlcic); Bb2 (xerocrept calcixeròl·lic); Ca1 (xerocrept fluvèntic); Ca3 (xerofluent àqüic); Ca4 (xerofluent gípsic); EA = eficiència d'aplicació; IP = índex de percolació; IE = índex d'escolament; CD = coeficient de dèficit; CU = coeficient d'uniformitat de distribució.

FONT: Elaboració pròpia a partir de dades de l'àrea d'enginyeria hidràulica de l'ETSEA.

En els regs analitzats en què s'ha pogut determinar el coeficient de dèficit (CD), aquest és molt baix (4 % - 6 %), i el coeficient d'uniformitat (CU) és força alt (90 % - 97 %). S'obté, doncs, un valor mitjà ponderat del 92 %, cosa que indica que l'aigua aplicada es distribueix de manera bastant uniforme al llarg de la parcel·la.

Es pot estimar una xifra d'eficiència d'aplicació mitjana per al conjunt de la zona calculant la mitjana ponderada en funció del percentatge de superfície que representa, i dóna un valor del 60 %.

#### 4.2. Avaluació d'una petita àrea regada a tesa en sòls no idonis

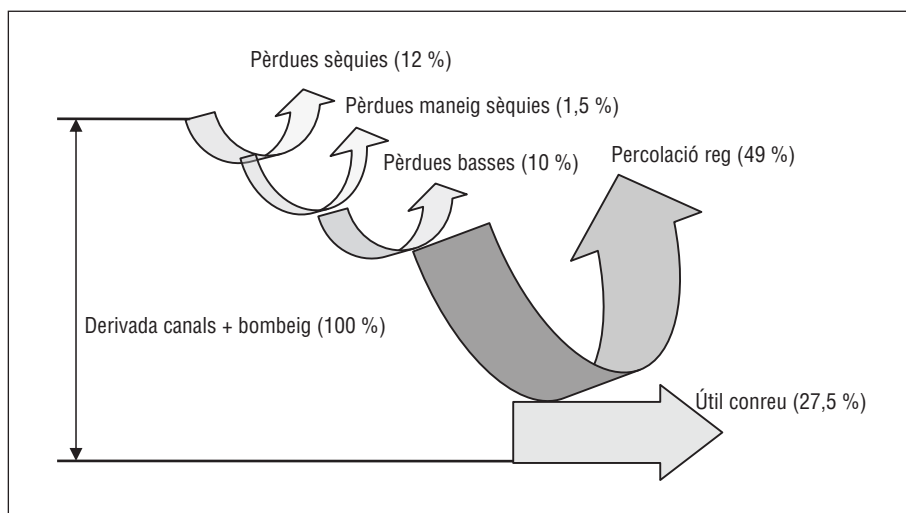
Aquí es presenten els resultats de l'avaluació del reg en una superfície de 430 ha que es troba dins l'àrea regada pels canals d'Urgell al terme municipal d'Arbeca, realitzada per l'àrea d'enginyeria hidràulica (Cots, 1993; Cots *et al.*, 1994). L'estudi es dugué a terme durant la campanya de regs de l'any 1991, quan els conreus predominants eren fruiters (27 %), principalment pomers, perers i presseguers; blat (24 %); alfals (16 %), i panís (14 %). La superfície mitjana de les parcel·les era de 0,73 ha. La zona correspon a sòls del tipus Bb1 i Bb2 (taula III): es tracta de sòls poc profunds, de textura franca, amb un alt percentatge de graves i baixa capacitat de retenció d'aigua (uns 50 mm de mitjana).

A l'àrea estudiada, anomenada localment les Planes, hi havia tres sèquies principals a cel obert, que rebien l'aigua directament del canal principal i la distribuïen servint altres sèquies secundàries o bé directament a les parcel·les de reg. Es tractava de sèquies prefabricades de formigó armat, amb una longitud total propera als quatre quilòmetres i que podien transportar cabals entre els 85 l/s i els 150 l/s. A cada sèquia hi havia una bassa on s'emmagatzemava l'aigua subministrada durant la nit i que, posteriorment, s'emprava per regar durant el dia. A més, cada sèquia disposava d'un pou que bombejava sols en els mesos d'estiu, i extreia l'aigua de l'aquífer lliure subjacent. La distribució de l'aigua es feia per torns, sense limitació de temps per regar les parcel·les, i el reg majoritari per superfície era amb taules amb pendent.

Per a la mesura dels cabals a la xarxa de distribució es van construir i calibrar aforadors de cresta ampla equipats amb limnígrafs, per tal de poder disposar d'un registre continu dels cabals, els quals permetien determinar les pèrdues produïdes a la xarxa de distribució.

El valor mitjà de les pèrdues a les sèquies fou de 6 l/s i km de sèquia, que equival a  $0,55 \text{ m}^3/\text{m}^2$  de sèquia i dia, o al 7,5 % del cabal entrat per quilòmetre de sèquia. Les xifres obtingudes són molt superiors a les recollides per Luján (1992) per infiltració en sèquies prefabricades, que cita valors de  $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^2$  al dia a  $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2$  al dia. La raó està en el fet que les pèrdues calculades reflecteixen, a més de les pèrdues per infiltració, pèrdues degudes al desbordament en algun tram (perquè les seccions en relació amb els cabals que hi circulen són insuficients), pèrdues per l'aigua que passa a través de les comportes que es troben al llarg de la sèquia, pèrdues degudes al mal estat de conservació de les juntes i també les pèrdues per evaporació. Per determinar el percentatge que representen aquestes pèrdues respecte al total d'aigua que s'utilitza per a reg a la zona, cal considerar prèviament una longitud de sèquia fictícia per la qual circula l'aigua de manera contínua tot el dia, que ha resultat, de mitjana per a les tres sèquies estudiades, d'1,6 km. El valor de cabal perdut per quilòmetre de sèquia (7,5 %) per 1,6 km de lon-

**FIGURA 4.** Distribució de pèrdues i grau d'aprofitament per al conreu a les 430 ha de les Planes al terme municipal d'Arbeca



FONT: Elaboració pròpia.

gitud mitjana de sèquia suposa un conjunt de pèrdues del 12 % del total d'aigua que s'utilitza per a reg a la zona (figura 4).

Els excedents d'aigua que es perdien al final de les sèquies i que anaven cap als desguassos arran d'un mal maneig es van estimar en un 1,5 % del total d'aigua que s'utilitzava per al reg durant el període que es van fer les mesures (37 dies), mentre que l'aigua que es perdia a les basses per filtració i evaporació equivalia gairebé a un 10 % (figura 4).

L'eficiència de distribució mitjana resultà del 76,5 %, xifra que indica que de tota l'aigua que es deriva en origen de les sèquies procedent dels canals i dels pous de bombament sols n'arriba a les parcel·les el 76,5 %, i se'n perd el 23,5 % pel camí. D'aquestes pèrdues, s'estima que el 0,5 % es produeixen per evaporació a les basses i sèquies de reg.

Pel que fa als índexs de la qualitat del reg en parcel·la, s'obtingué una eficiència d'aplicació mitjana dels regs avaluats del 36 %, un índex de percolació del 64 %, un índex d'escolament nul, un coeficient de dèficit del 6 % i un coeficient d'uniformitat del 95 %.

Les pèrdues del conjunt de la zona foren d'un 72,5 % de l'aigua subministrada, i les més importants van ser les pèrdues produïdes a les parcel·les de reg (49 %), cosa que assenyalava clarament la no idoneïtat d'aquests tipus de sòls per al reg a tesa (figura 4). L'eficiència resultant del conjunt del districte de reg fou del 27,5 %.

#### 4.3. Avaluació d'una gran àrea regada drenada pel riu Corb

En aquest apartat es presenten els resultats obtinguts amb un model de simulació matemàtic de recursos hídrics que ha estat desenvolupat a l'àrea d'enginyeria hidràulica (Cots, 2011). El model es pot classificar com a matemàtic:

- Determinístic, és a dir, que els valors de les variables són determinats per lleis físiques considerades exactes.
- Quasidistribuit, en el sentit que es divideix el domini estudiat en diferents dominis segons les característiques del medi físic, però per a cada domini es treballa amb valors mitjans de les variables que representen el medi.
- De simulació contínua a escala diària, que significa que s'obtenen resultats del model de manera seguida en el temps cada dia.
- Amb un elevat nombre de paràmetres (38), i els paràmetres són valors que representen dades del model de simulació, com ara els relacionats amb les pèrdues per infiltració a la xarxa de canals i distribució, d'estimació dels retorns de cabals que van a parar a la xarxa de drenatge, de maneig del reg (cabal i temps de reg), d'intercepció de la precipitació per la vegetació, de propietats físiques dels sòls, del subsòl i de l'aqüífer.

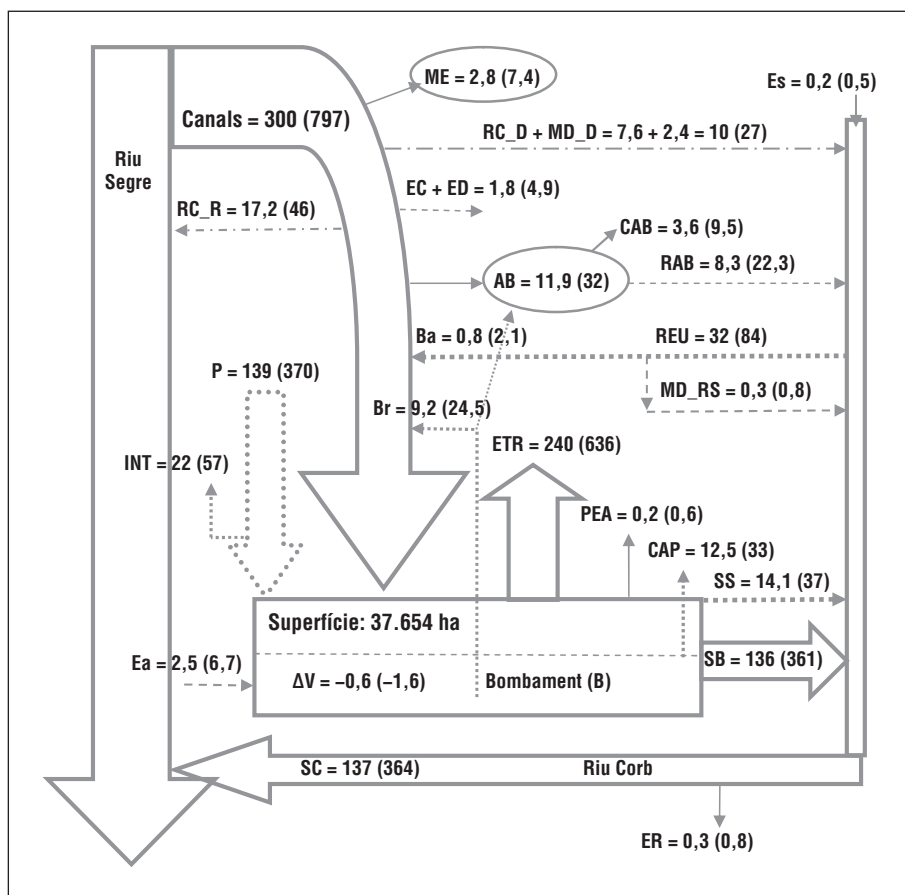
El model s'ha aplicat a la zona regada dels canals d'Urgell drenada pel riu Corb, que comprèn una superfície de 37.764 ha i representa el 43 % del total de la zona regada, i ha estat calibrat sobre la base dels cabals registrats al riu Corb durant els anys hidrològics 2000-2002.

A la figura 5 es mostren els resultats del balanç hídric per a la mitjana dels tres anys simulats. De les entrades al sistema, els components de més pes són l'aigua aportada pels canals (Canals), amb un 67,9 % (300 hm<sup>3</sup>), i la precipitació (P), amb un 31,4 % (139 hm<sup>3</sup>), i de menor quantia les aportacions subterrànies externes (Ea), 0,57 % (2,5 hm<sup>3</sup>), i les superficials externes (Es), 0,05 % (0,2 hm<sup>3</sup>). Del conjunt format pel consum i els retorns, els components més importants són l'evapotranspiració real (ETR), amb un 51,3 % (240 hm<sup>3</sup>), i les sortides que descarreguen la zona de l'aqüífer i de drenatge (SB), amb un 29,1 % (136 hm<sup>3</sup>).

A la mateixa figura 5 també es poden veure els termes considerats consum beneficis (CB), que són l'ETR, l'aigua consumida en els abastaments (CAB), amb 3,6 hm<sup>3</sup>, i el volum d'aigua exportada a les comunitats de regants ubicades al marge esquerre del canal principal (ME), amb 2,8 hm<sup>3</sup>. El consum no beneficis (CNB) inclou l'evaporació que es produeix als canals, sèquies, basses i desguassos a cel obert (EC, ED, ER), que puja a 2,1 hm<sup>3</sup>; la intercepció de la pluja per la vegetació (INT), amb 22 hm<sup>3</sup>; les pèrdues per evaporació i arrossegament que es donen en reg per aspersió (PEA), amb 0,2 hm<sup>3</sup>, i l'aigua d'ascens per capilaritat del nivell freàtic (CAP), estimada



**FIGURA 5.** Balanç hídric de la zona regada pels canals d'Urgell drenada pel riu Corb per l'any mitjà en  $\text{hm}^3$  i en mm entre parèntesi



On: AB = abastaments; CAB = consum dels abastaments; CAP = ascens per capilaritat; ETR = evapotranspiració real; Es = entrades superficials; Ea = entrades aquífer; EC, ED i ER = evaporació a la xarxa de conducció, distribució i rius, respectivament; INT = intercepció; ME = regs externs al domini en el marge esquerre del canal principal; MD\_D = pèrdues de maneig de la xarxa de distribució que van als desguassos del Corb; MD\_RS = pèrdues de maneig a la xarxa de distribució de la zona de reutilització; P = precipitació; PEA = pèrdues per evaporació i arrossegament en reg per aspersió; RAB = retorn dels abastaments; RC\_D = retorns dels canals als desguassos del Corb; RC\_R = retorns dels canals al riu Segre; REU = volum captat dels desguassos per a reg; SB = sortides basals; SC = sortides calculades del riu Corb cap al riu Segre; SS = sortides superficials;  $\Delta V$  = variació del contingut d'humitat al sòl i en el medi porós saturat; Ba = extraccions per bombament destinades a abastaments (urbans, granges, indústria); Br = extraccions per bombament destinades a reg.

FONT: Elaboració pròpia.

en  $12,5 \text{ hm}^3$ , i que s'ha considerat com una evaporació que es perd, la qual cosa és discutible.

Els excedents o les pèrdues de maneig (retorns) provinents dels canals i de la xarxa de distribució que van al riu Corb ( $\text{RC}_D + \text{MD}_D$ ), valorats

en 10 hm<sup>3</sup>, o bé directament al riu Segre (RC\_R), valorats en 17,2 hm<sup>3</sup>, també es mostren a la figura 5.

Els termes que formen les sortides o els retorns dels diferents usos que van a la xarxa de desguassos del riu Corb (figura 5) són: les sortides que descarreguen la zona de l'aqüífer i de drenatge (SB), amb 136 hm<sup>3</sup>; les sortides superficials (SS), amb 14,1 hm<sup>3</sup>, i els retorns dels abastaments (RAB), amb 8,3 hm<sup>3</sup>. El volum d'aigua que es capta dels desguassos del riu Corb per regar de nou (REU) s'estima en 32 hm<sup>3</sup>. De manera que les sortides del riu Corb que van al Segre (SC) són de 137 hm<sup>3</sup>. S'han estimat els retorns beneficiosos necessaris per al rentat de les sals del sòl en 10,7 hm<sup>3</sup>, mentre que la resta, 143,5 hm<sup>3</sup>, s'han considerat retorns no beneficiosos.

La variació de volum d'aigua aprofitable que hi ha en el conjunt format pel sòl i subsòl ( $\Delta V$ ) resulta de -0,6 hm<sup>3</sup>, i el signe negatiu indica una pèrdua més aviat petita en el conjunt del balanç. L'error de tancament del balanç hídric ha estat del -5,8 %, respecte a les entrades, que equival a -26 hm<sup>3</sup>, xifra que es pot considerar acceptable tenint en compte les incerteses associades a certs components del balanç.

Les extraccions per bombament de l'aqüífer (B) ascendeixen a 10 hm<sup>3</sup>, de les quals 9,2 hm<sup>3</sup> es destinen a reg (Br) i la resta a abastaments urbans, de granges i indústries (Ba). El bombament no es pot considerar una entrada al sistema, ja que aquest prové de les entrades de percolació de l'aigua de reg i de la pluja. El volum total que es reutilitza a la zona serà, doncs, la suma del volum d'aigua derivat dels desguassos per regar (REU), 32 hm<sup>3</sup>, més les extraccions per bombament esmentades (B). El total puja a 42 hm<sup>3</sup> i representa el 14 % de l'aigua servida pels canals.

Pel que fa als índexs d'aprofitament, s'obté que la fracció consumida (quotient entre el consum i les entrades netes) és de 0,64; la consumida beneficiosa (que utilitza el conreu per l'evapotranspiració), de 0,56 i la no beneficiosa (evaporació de canals i basses, intercepció de la pluja per la vegetació), de 0,08. La quantitat que retorna del sistema al riu Segre és de 154,3 hm<sup>3</sup>, i la fracció de retorn (quotient entre els retorns i les entrades netes) és de 0,35, la de retorn beneficiosa (pel rentat de sals del sòl) de 0,02 i la no beneficiosa de 0,32. Si no hi hagués reutilització, la fracció de retorn seria de 0,42, cosa que indica que la reutilització suposa una disminució en els retorns del 7 %.

La quantitat que retorna al riu Segre, 154,3 hm<sup>3</sup>, encara que representa una pèrdua per al sistema no ho és a escala de conca (tal com assenyalen Bos i Wolters, 1989; Lecina *et al.*, 2009), ja que la qualitat dels retorns permet que s'utilitzin de nou aigües avall per a altres usos abans no arribin al mar, com, de fet, succeeix a la realitat.

A la xarxa de transport, l'eficiència de conducció mitjana anual, quotient entre el volum derivat a la xarxa de distribució i el volum derivat en origen dels canals, fou del 86,3 %, i l'eficiència de distribució, relació entre el volum derivat a l'origen de les parcel·les de reg i el volum derivat a la xarxa de

distribució, fou del 90 %. L'eficiència global anual del sistema, calculada com la relació entre l'aigua útil enfront de l'aigua total subministrada pels canals, fou del 62 % i a l'època de regs, del 65,5 %.

Si comparem els dos estudis comentats anteriorment, es veu com es passa d'una eficiència del 27,5 % en una petita zona de reg amb sols no idonis per al reg a tesa, a una eficiència a escala de conca del 65,5 %, i es posa de manifest com l'aprofitament de l'aigua en una gran zona de reg o de conca augmenta respecte a l'obtinguda en parcel·la o en petites zones de reg. La causa de l'anterior rau en la reutilització que es fa de l'aigua que es perd. Aquest fet és comentat sobre altres zones per diversos autors com Wolters i Bos (1990), Solomon i Davidoff (1999) i Coch (2003).

L'increment de l'eficiència a escala de conca respecte a l'eficiència en parcel·la també es posa de manifest en altres zones com ara a la conca del Nil, on les eficiències en parcel·la solen ser del 40 % al 50 %, mentre que a escala de conca assolixen valors del 80 %, a causa de la reutilització de l'aigua (IPTRID, 2005). A més, gran part del 20 % restant és emprat de manera beneficiosa en altres sectors, com ara els usos mediambientals per a zones humides i sortides al mar Mediterrani (Molden, 1997).

## 5. LA MODERNITZACIÓ DELS REGADIS TRADICIONALS

Per millorar l'eficiència en la utilització de l'aigua i el maneig en zones de regadiu tradicional, es poden realitzar un seguit d'actuacions que s'anomenen *de modernització*. Es pot parlar de tècniques de millora de regadius o de modernització toves o dures. Es parla de tècniques toves quan les mesures incideixen en la millora de la distribució de l'aigua o en el maneig del reg en parcel·la, i de tècniques de millora dures quan es requereixen grans obres o inversions en infraestructures, com revestir canals o sèquies, impermeabilitzar embassaments o canviar el sistema de reg per gravetat a regs a pressió.

### 5.1. Tecnologies de modernització toves

Dins de les tècniques toves de millora de regadiu, una mesura senzilla és fer la distribució del reg limitant el temps per unitat de superfície regada; és el que s'anomena *reg per hores*. Una altra mesura podria ser *implementar l'automatització del reg superficial* mitjançant comportes de reg semiautomàtiques, com ara el prototip desenvolupat a l'àrea d'enginyeria hidràulica de l'ETSEA (Monserrat *et al.*, 1998), que fóra aplicable en parcel·les grans, i especialment recomanable en aquelles que han de regar durant la nit perquè no disposen de basses de regulació. O bé implementar una tarifa de pagament de l'aigua de reg no sols per superfície regada, sinó també pel volum

d'aigua subministrat, cosa que es coneix com a *tarifa mixta basada en la superfície i el volum*.

En el reg per hores, normalment se sol emprar el criteri d'una hora per jornal, la qual cosa equival a 2,3 h/ha. El criteri anterior cal, però, adaptar-lo a les condicions locals de cada zona en funció del tipus de sòls, dels cabals de reg emprats habitualment, del tipus de conreu a regar i de si es tracta del primer reg de la campanya o dels successius, ja que és un fet comprovat que els primers regs solen necessitar més temps de reg. De totes maneres, la pràctica del dia a dia dels agricultors de cada zona ha de ser un factor decisiu a l'hora de fixar aquest criteri.

La implementació del reg per hores té unes repercussions molt positives i interessants en les zones on s'ha aplicat, com ara la reducció del torn de reg, amb el qual les plantes no pateixen tant estrès hídric i s'incrementa el rendiment productiu. Tot i derivar-se el mateix volum d'aigua, aquesta s'aprofita millor. Això repercuteix en benefici dels mateixos agricultors, que haurien de ser els principals interessats a adoptar aquest tipus de mesura. A més, aquesta mesura els obliga a tenir les finques en condicions, és a dir, ben anivellades, amb les sèquies i les comportes internes de la finca en bon estat, així com a estar pendents del reg i no aplicar més aigua de la necessària, cosa que evita pèrdues excessives per escolament al final de la parcel·la o bé per infiltració per sota de la zona radicular. Tot plegat, redunda en un increment de l'eficiència d'aplicació.

A tall d'exemple, es podria fer el següent supòsit de tècnica tova de millora de reg actuant sobre el seu maneig i les condicions d'anivellament de la finca. Així, suposem que una sèquia de reg serveix aigua per a una superfície de 153 ha, disposa d'un cabal de reg de 100 l/s i les dimensions mitjanes de les parcel·les són de 50 m d'ample per 200 m de llarg (el que equival a una hectàrea per parcel·la, havent-hi, per tant, 153 parcel·les). Si la parcel·la es regués amb quatre taules de reg de 12,5 m d'amplada cadascuna i alhora presentés problemes de mal anivellament que dificultessin l'avanç regular de l'aigua fent que el temps de reg de cada taula de reg fos de 40 min, significaria que per regar la parcel·la es necessitarien 160 min, és a dir, 2 h i 40 min, fet que equivaldria a 2,67 h/ha. En aquesta situació, el torn de reg, si es reguessin totes les parcel·les, se n'aniria a:  $153 \text{ ha} \times 2,67 \text{ h/ha} \times 1 \text{ dia} / 24 \text{ h} = 17 \text{ dies}$ .

També es podria donar el cas que la finca estigués correctament anivellada i que la causa que el temps de reg fos igual que l'anterior, 2,67 h/ha, vingués del fet que l'agricultor apliqués com a pràctica de maneig del reg esperar a tallar l'entrada de l'aigua a la taula fins que aquesta hagi arribat al final de la parcel·la (pràctica que origina acumulacions excessives d'aigua al final de la parcel·la i que fa augmentar les pèrdues per infiltració i disminuir l'eficiència d'aplicació). Aquest fet sol produir-se perquè la pràctica habitual de reg de moltes zones sol ser donar l'aigua sense cap límit de temps per hectàrea, fet que fa que molts agricultors no mirin gaire prim a l'hora de

tallar l'aigua uns metres abans que arribi al final, ja que la força de la gravetat és suficient perquè aquesta hi arribi.

Si a continuació, la col·lectivitat de regants o el síndic de la zona decidís que tothom ha de regar per hores amb un temps màxim de 2 h i 20 min per hectàrea (2,33 h/ha), l'agricultor es veuria obligat a millorar l'anivellament de la finca per facilitar l'avanç de l'aigua, si aquest n'era el problema. En el cas que la finca estigués ben anivellada però fes un mal maneig de l'aigua com ara esperar a tallar l'entrada d'aigua a la taula fins que aquesta arribi al final, es veuria obligat a reduir el temps de tall per tal de poder regar amb cinc minuts menys cada taula. De manera que es passaria dels 40 min de reg inicials per taula als 35 min, fet que suposaria un estalvi de 20 min per hectàrea. Amb aquestes millores tan senzilles i simples, resultaria que el torn de reg passaria a ser, si es reguessin totes les parcel·les, de:  $153 \text{ ha} \times 2,33 \text{ h/ha} \times 1 \text{ dia} / 24 \text{ h} = 14,9 \text{ dies} \approx 15 \text{ dies}$ , la qual cosa significaria poder regar les parcel·les dos dies abans, fet que implicaria un increment en el rendiment dels cultius i, conseqüentment, un increment de guanys per als agricultors.

A més a més, a l'esmentat exemple s'aconsegueix, paral·lelament, un altre efecte important: la disminució de la làmina d'aigua infiltrada, ja que si es rega amb 2,67 h/ha amb un mòdul de reg de 100 l/s, s'estan aplicant 961,2 m<sup>3</sup>/ha i reg (100 l/s  $\times$  2,67 h/ha i reg  $\times$  1 m<sup>3</sup>/ 1.000 l  $\times$  3.600 s/h = 961,2 m<sup>3</sup>/ha i reg), que equival a una altura de làmina d'aigua infiltrada mitjana de 96 mm; mentre que, si es rega amb 2,33 h/ha, s'apliquen 838,8 m<sup>3</sup>/ha i reg, amb una làmina de 84 mm, amb la qual cosa es disminueix la infiltració en uns 12 mm/reg, que significa un 12,5 % menys d'aigua infiltrada (fet que fa augmentar l'eficiència d'aplicació i, alhora, disminuir les pèrdues per percolació, que normalment solen anar associades a rentat de sals del sòl i de fertilitzants com ara els nitrats). Resulta, doncs, que, aplicant el reg més eficientment amb unes simples mesures d'anivellament de la finca o de disminució del temps de tall, s'aconsegueixen alhora dos efectes molt importants: disminuir el torn de reg i, per tant, augmentar el rendiment dels conreus, i disminuir la contaminació de les aigües pel fet d'haver-hi menys infiltració i conseqüentment menys rentat de sals i de nitrogen.

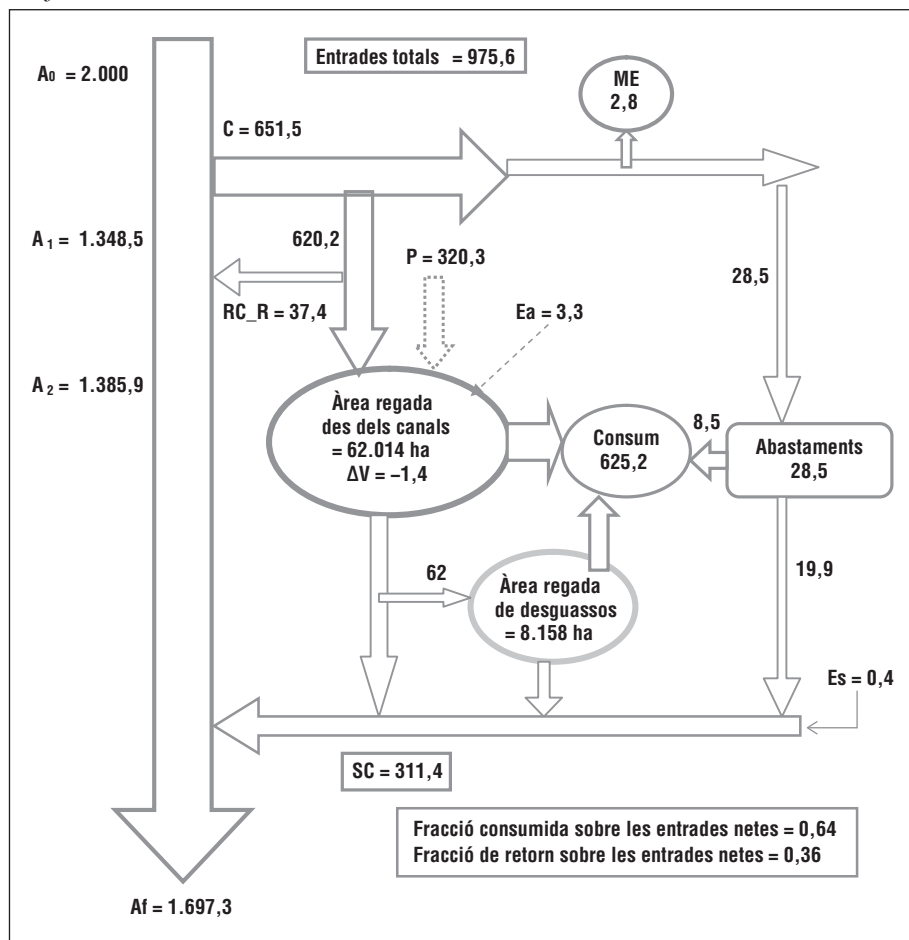
### 5.2. Tecnologies de modernització dures

Un tipus de tecnologia anomenada *dura* fóra la de transformació del reg per gravetat a reg a pressió. L'impacte d'aquesta mesura s'ha simulat a la zona regada pels canals d'Urgell emprant el mateix model de simulació elaborat per Cots (2011), i les principals hipòtesis assumides són les següents: mantenir l'actual patró de conreus, la superfície regada amb aigües procedents dels desguassos passarà a regar-se directament dels canals a través de la nova xarxa de pressió, el reg per aspersió ocuparà el 70 % de l'àrea rega-

da i el reg localitzat el 30 % i s'incrementa la superfície de reg (es passa de les 70.172 ha actuals a les 75.050 ha futures).

Els resultats obtinguts es mostren a la figura 6 (situació inicial sense modernització) i a la figura 7 (situació modernitzada). Comparant els resultats, s'observa que en la situació modernitzada:

**FIGURA 6.** *Balanç global dels canals d'Urgell en la situació inicial per l'any mitjà en hm<sup>3</sup>*



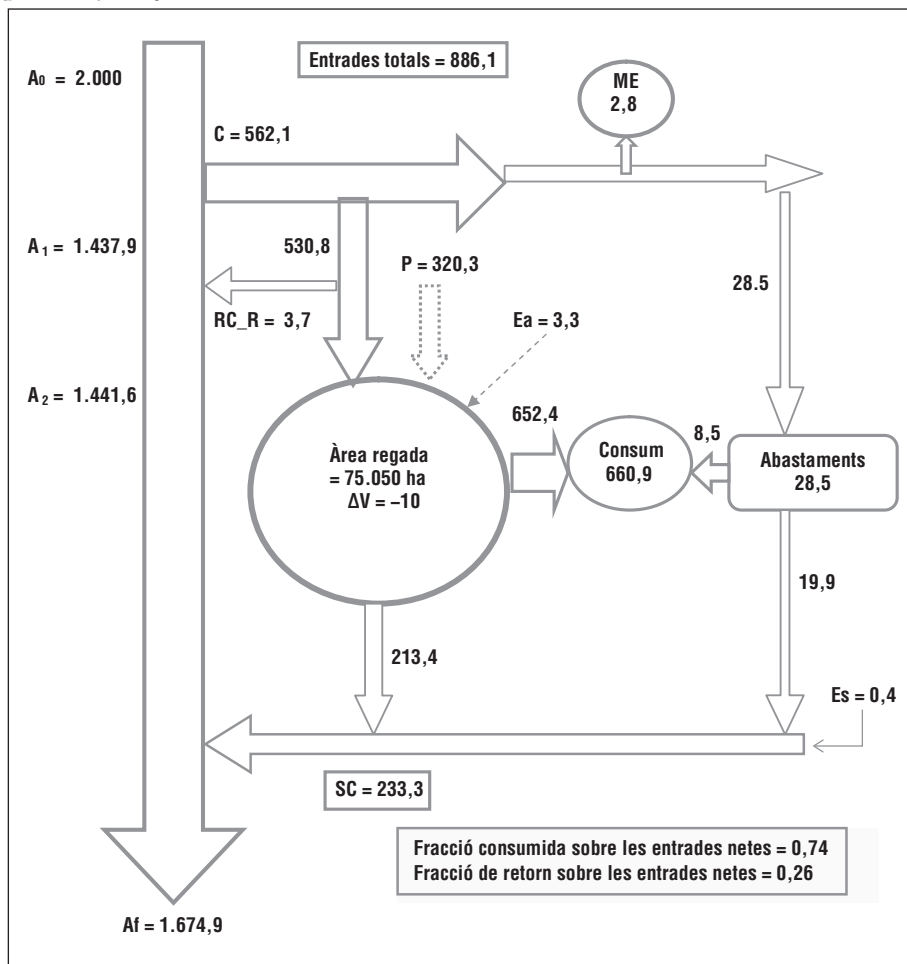
On:  $A_0$  = aportació del riu Segre abans de la derivació als canals;  $A_1$  = aportació del riu Segre després de la derivació dels canals;  $A_2$  = aportació del riu Segre després dels retorns dels excedents dels canals;  $A_f$  = aportació final al riu Segre després dels retorns dels desguassos que drenen l'àrea regada;  $Ea$  = entrades externes subterrànies;  $Es$  = entrades externes superficials;  $C$  = aportació canals;  $P$  = precipitació;  $RC\_R$  = retorns dels canals que van directament al riu Segre;  $SC$  = retorns de la xarxa de desguassos;  $\Delta V$  = variació de volum total;  $ME$  = regs externs al domini en el marge esquerre del canal principal.

FONT: Elaboració pròpia.

## El regadiu a Lleida. Resultats de diverses avaluacions

- Augmenta la fracció consumida de 0,64 a 0,74, és a dir, un 0,10, i el consum passa dels 625,2 hm<sup>3</sup> inicials als 660,9 hm<sup>3</sup>, cosa que equival a un increment de 35,7 hm<sup>3</sup>.
- Disminueix la fracció de retorn de 0,36 a 0,26, és a dir, un 0,10, i els

**FIGURA 7.** *Balanç global dels canals d'Urgell amb la modernització del reg per l'any mitjà en hm<sup>3</sup>*



On: Ao = aportació del riu Segre abans de la derivació als canals; A<sub>1</sub> = aportació del riu Segre després de la derivació dels canals; A<sub>2</sub> = aportació del riu Segre després dels retorns dels excedents dels canals; Af = aportació final al riu Segre després dels retorns dels desguassos que drenen l'àrea regada; Ea = entrades externes subterrànies; Es = entrades externes superficials; C = aportació canals; P = precipitació; RC\_R = retorns dels canals que van directament al riu Segre; SC = retorns de la xarxa de desguassos; ΔV = variació de volum total; ME = regs externs al domini en el marge esquerre del canal principal.

FONT: Elaboració pròpia.

retorns ( $R = SC + RC\_R$ ) passen dels 348,8 hm<sup>3</sup> actuals als 237 hm<sup>3</sup>, cosa que suposa una reducció de 111,8 hm<sup>3</sup>.

— Aigües avall de la zona regada pels canals d'Urgell disminueix el volum d'aigua disponible ( $A_f$ ) en 22,4 hm<sup>3</sup> un cop realitzada la modernització.

Així, doncs, els resultats obtinguts amb el model de simulació confirmen el que assenyala Lecina *et al.* (2009), que la modernització dura del regadiu no comporta un estalvi d'aigua o alliberació de recursos per a altres usos, com es creu, sinó un increment del consum i una disminució dels recursos disponibles aigües avall.

La simulació de la modernització del regadiu dels canals d'Urgell comportaria una disminució del volum servit en origen dels canals de reg ( $C$ ) de 89 hm<sup>3</sup>, amb el benentès de les hipòtesis assumides. L'esmentada xifra, però, no ha d'interpretar-se erròniament com la quantitat d'aigua que s'estalviaria com a conseqüència de la modernització, perquè, com s'ha comentat abans, la quantitat d'aigua disponible aigües avall de la zona de reg ( $A_f$ ) disminuiria en 22,4 hm<sup>3</sup>. El fet anterior posa de manifest la importància d'analitzar de manera global els recursos disponibles i no només mirant l'estalvi d'aigua en l'origen del sistema de reg.

Un dels avantatges que comportaria la modernització fóra la millora de la quantitat i de la qualitat de l'aigua del riu Segre en el tram comprès des de la derivació cap als canals fins que s'incorporen els retorns recollits pels rius que drenen la zona regada. L'increment del volum d'aigua en aquest tram ( $A_2$ ) fóra de 55,7 hm<sup>3</sup> respecte a la situació inicial i equivaldria a uns 3 m<sup>3</sup>/s de més durant el període de reg. Aquesta aigua tindria una qualitat igual que la que tenia al riu abans de la seva derivació cap als canals.

L'aigua que retorna al riu Segre a través dels canals de reg ( $RC\_R$ ) es considera d'igual qualitat que la que tenia abans de la seva derivació al riu. A la situació inicial, la quantitat que retorna s'estima amb el model en 37,4 hm<sup>3</sup>, i amb la modernització passaria a ser de 3,7 hm<sup>3</sup>.

A la vegada, caldria esperar que els retorns procedents de la xarxa de desguassos ( $SC$ ) després de la modernització (223,3 hm<sup>3</sup>) fossin de més qualitat que els generats en la situació inicial. L'anterior s'explica pel fet que, en aplicar-se un menor volum d'aigua, es produeix una menor mobilització de sals del sòl, junt amb una suposada reducció de les pèrdues de fertilitzants pel fet d'aplicar-se amb tècniques de reg que en permeten més control i repartiment (Causapé *et al.*, 2004). A Lecina *et al.* (2009), es comenta, també, que si bé es redueix la quantitat de sals exportades, com que també en disminueix el volum dels retorns, la seva concentració augmenta.

Finalment, cal remarcar que en el cas de tirar-se endavant la modernització dels canals d'Urgell, aquesta hauria de fer-se de manera que s'aprofitessin al màxim els avantatges de la pressió natural per reduir-ne la dependència energètica de bombament, tal com s'estableix en el Pla Director de



Modernització de la Zona Regable dels Canals d'Urgell (Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca, 2005). A més, fóra bo analitzar més a fons altres alternatives a causa de l'actual situació d'encariment de les tarifes elèctriques. També es podria suposar que la hipòtesi que es mantingui l'actual patró de conreus no sigui certa i es vagi a una intensificació superior que comporti que la demanda en origen sigui pareguda a la situació actual.

### 5.3. Avantatges i inconvenients de la modernització del regadiu

La modernització d'un regadiu comporta una sèrie d'avantatges i d'inconvenients que fan que s'hagi de ser molt curós a l'hora de decidir si es tira o no endavant, ja que hi intervenen molts factors que cal que els experts en diferents especialitats valorin bé.

#### 5.3.1. Avantatges

— Increment de la producció i de la qualitat de les collites pel fet de permetre controlar més la dosi aplicada i possibilitat de fer-se regs més freqüents que s'ajusten millor a les necessitats hídriques dels conreus. Els increments de producció solen xifrar-se entre el 10 % i el 30 % en els casos de modernització que s'han dut a terme en zones properes.

— Estalvi en fertilitzants pel fet de poder-los dosificar millor mitjançant el reg a pressió, la qual cosa repercuteix també en la qualitat de les collites.

— Estalvi de mà d'obra respecte al reg per superfície.

— En cas de fer-se la concentració parcel·lària prèvia a la modernització del regadiu, estalvi de despesa de maquinària, pel fet de disminuir els temps morts per desplaçament de la maquinària d'una parcel·la a una altra i incrementar-se el rendiment d'aquesta per treballar en parcel·les més grans. A la vegada, també, estalvi perquè certes feines de conreu, com la preparació de la terra, es fan innecessàries en el reg a pressió.

— Millora de la qualitat de vida de l'agricultor, perquè sols cal controlar que les instal·lacions funcionin correctament. Mentre que en el cas del reg per superfície cal més esforç físic i presència, que limiten la superfície que un regant pot abastar.

— Millora de la qualitat de l'aigua del riu pel fet de derivar-se menys quantitat d'aigua per al regadiu; a la vegada, els retorns poden ser de millor qualitat, si es fa un bon maneig del reg i de la fertirrigació.

### 5.3.2. *Inconvenients*

— Elevat cost de la inversió inicial per a la modernització de la xarxa de reg i per a la posada en reg de la finca. La xarxa de reg pot costar uns 12.000 €/ha i la posada en reg de la finca uns 3.000 €/ha (Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca, 2005). Pel que fa a la despesa de la xarxa de reg a la qual ha de fer front l'agricultor, sol ser del 30 %, si es fa la concentració parcel·lària o bé si s'apliquen mesures d'estalvi d'aigua. En el cas de no aplicar-se, ha de pagar-ne el 40 %, i l'Administració es fa càrrec de la resta. Pel que fa a la posada en reg en parcel·la, l'agricultor en paga el 60 % i, de la resta, l'Administració en subvenciona a fons perdut el 16 %; el que queda, el 24 %, el pagès ha de tornar-ho amb un crèdit on l'interès està subvencionat. D'aquesta manera, el pagès hauria de pagar de la xarxa de reg, en el supòsit que es fes la concentració parcel·lària,  $12.000 \times 0,3 = 3.600$  €/ha, del qual se sol fer un préstec bancari a vint-i-cinc anys i a una taxa d'interès que sol fixar-se en funció d'un índex financer més un diferencial. Mentre que en la posada en reg en parcel·la l'agricultor hauria de pagar el 60 % de la inversió ( $3.000 \times 0,6 = 1.800$  €/ha) a l'interès de mercat i a tornar en vint anys, i el 24 % restant ( $3.000 \times 0,24 = 720$  €/ha) a un interès subvencionat a tornar en vint anys. Si se suposa que l'interès financer més el diferencial és del 4,4 % i l'interès subvencionat de l'1,5 %, resultaria que el pagament de la inversió fóra de 419 €/ha i any durant els primers vint anys i de 240 €/ha i any els últims cinc anys.

— Les despeses energètiques derivades del bombament a la xarxa de reg a pressió. En el cas dels canals d'Urgell, segons el Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca (2005), un 80 % de la superfície necessitaria pressió per bombeig, mentre que la resta podria regar-se per pressió natural.

— Un impediment important per a la modernització és l'edat avançada dels agricultors i la no continuïtat de la joventut en l'explotació familiar, la qual cosa dificulta enormement les inversions i el canvi tecnològic necessaris.

— Un altre problema afegit és la incertesa en els preus dels productes agraris, les polítiques variables de subvencions directes i indirectes i les possibles sancions econòmiques derivades de no complir els límits mínims de qualitat de les aigües fixades per la Directiva marc de l'aigua de la Unió Europea.

— Les despeses de manteniment de la xarxa de reg i de les instal·lacions de reg en parcel·la, que, de fet, també es donen en la situació inicial sense modernització.

## BIBLIOGRAFIA

BARRAGÁN, J.; COTS, L.; MONSERRAT, J. (1999). «Evaluación de los regadíos y mejora de su eficiencia». A: ARROJO, P.; MARTÍNEZ, F. J. (coord.). *El agua a debate desde la universidad: Hacia una nueva cultura del agua: 1er Congreso*

- Ibérico sobre Gestión y Planificación de Aguas*. Saragossa: Institución Fernando el Católico.
- BOS, M. G.; WOLTERS, W. (1989). «Project or overall irrigation efficiency». A: RYDZEWSKI, J. R.; WARD, C. F. (ed.). *Irrigation: Theory and practice: Proceedings of the International Conference held at the University of Southampton 12-15 September, 1989*. Londres: Pentech Press, p. 499-506.
- CAUSAPÉ, J.; GARCÍA, M. Á.; QUÍLEZ, D.; ARAGÜES, R. (2004). «El regadío en la cuenca del Ebro: eficiencia e impacto ambiental». *Tecnología del Agua*, núm. 250, p. 56-61.
- COCH, A. (2003). «La planificación hidrológica». A: LÓPEZ RODRÍGUEZ, J. J. (coord.). *Gestión y planificación hidrológica: Curso de verano 2001*. Universidad Pública de Navarra, p. 285-316.
- COMUNITAT GENERAL DE REGANTS DEL CANAL SEGARRA-GARRIGUES (2011). Projecte de regadiu del canal Segarra-Garrigues. Projectes concessió [en línia]. <<http://www.canalsegarra-garrigues.cat/ca/projecteRegadiu/projectes-Concessio/>>. [Consulta: 27.05.2011]
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO (2005). *Implantación de la Directiva Marco. Caracterización de la demarcación y registro de zonas protegidas* [en línia]. <<http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=4337&idMenu=3041>>. [Consulta: 26.05.2011]
- COTS, L. (1993). *Avaluació de l'ús de l'aigua a la zona de les Planes (430 ha) del T. M. d'Arbeca (Col·lectivitat nº13 dels canals d'Urgell)*. J. Monserrat (tut.). Projecte final de carrera. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària. Universitat de Lleida.
- (2011). *Desarrollo y calibración de un modelo de simulación de recursos hídricos aplicado a la cuenca del río Corb dentro de la zona regable de los canales de Urgell (Lleida)*. J. Barragán (dir.). Tesi doctoral. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària. Universitat de Lleida.
- COTS, L.; MONSERRAT, J.; BARRAGÁN, J.; BORRÁS, E. (1994). «Evaluación del uso del agua en la zona de les “Les Planes” (430 ha) del término municipal de Arbeca (Colectividad nº 13 de los Canales de Urgell; Lleida)». *Riegos y Drenajes XXI*, núm. 21 (75), p. 39-43.
- DEPARTAMENT D'AGRICULTURA, RAMADERIA I PESCA (2005). Pla Director de Modernització de la Zona Regable dels Canals d'Urgell. Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Direcció General de Desenvolupament Rural. Regs de Catalunya. [Consultor: Institut del Medi Ambient i les Ciències Socials. Autor del projecte: I. Servià] [Projecte: E1-UR-02972]
- DEPARTAMENT D'AGRICULTURA, RAMADERIA, PESCA, ALIMENTACIÓ I MEDI NATURAL (2011). Regadius de Lleida [en línia]. <<http://www.regadius.cat/actuacions/regadius/lleida/>>. [Consulta: 13.05.2011]
- ESTRELA, T. (1992). *Metodologías y recomendaciones para la evaluación de recursos hídricos*. Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de

- Obras Públicas. Gabinete de Formación y Documentación. (Monografías; M-24)
- INTERNATIONAL PROGRAMME FOR TECHNOLOGY AND RESEARCH IN IRRIGATION AND DRAINAGE (2005). *Towards integrated planning of irrigation and drainage in Egypt: In support of the integrated irrigation improvement and management project (IIIMP)*. Roma: Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO).
- LECINA, S.; ISIDORO, D.; PLAYÁN, E.; ARAGÜÉS, R. (2009). *Efecto de la modernización de regadíos sobre la cantidad y la calidad de las aguas: La cuenca del Ebro como caso de estudio*. Madrid: Ministerio de Ciencia e Innovación; Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). 90 p.
- LUJÁN, J. (1992). *Eficiencia del riego*. Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Gabinete de Formación y Documentación. (Monografías; M-22)
- MOLDEN, D. (1997). *Accounting for water use and productivity*. Colombo (Sri Lanka): International Irrigation Management Institute. (SWIM Paper; 1)
- MONSERRAT, J.; ROSELL, J. R.; BARRAGÁN, J.; COTS, L.; PASTOR, R. (1998). «Sistema semiautomático para riego por superficie». *Riegos y Drenajes XXI*, núm. 102, p. 39-41.
- REG SISTEMA SEGARRA-GARRIGUES, SAU (2011). Revista divulgativa sobre el sistema Segarra-Garrigues [en línea]. <<http://www.regsega.cat/documents/>>. [Consulta: 26.05.2011]
- REGS DE CATALUNYA, SA (1999). Pla Director dels Regadius de la conca de l'Ebre. Regs de Catalunya, SA. Generalitat de Catalunya.
- SOLÉ, M. (2013). *Projecte de càlcul del preu de l'aigua de reg del canal Segarra-Garrigues en les zones d'especial protecció per a les aus estepàries*. C. Cantero (tut.). Treball final de grau en enginyeria agrària i alimentària. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària. Universitat de Lleida.
- SOLOMON, K. H.; DAVIDOFF, B. (1999). «Relating unit and subunit irrigation performance». *Transactions of the ASAE*, núm. 42 (1), p. 115-122.
- STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; RAES, D. (2012). *Crop yield response to water*. Roma: Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). (FAO Irrigation and Drainage Paper; 66)
- UNESCO (1974). *Methods for water balance computations: An international guide for research and practice*. París: The UNESCO Press. (Studies and Reports in Hydrology; 17)
- WOLTERS, W.; BOS, M. G. (1990). «Interrelationships between irrigation efficiency and the reuse of drainage water». A: AMER, M. H. (ed.). *Symposium on Land Drainage for Salinity Control in Arid and Semi-Arid Regions, Cairo 1990*. Vol. 3. El Caire: Nubar Printing House, p. 237-245.